

20-27

(4)

第20卷 第3期
1992年8月西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalisVol.20 No.3
Aug. 1992

污泥用于林地 15 年后养分和重金属 在土壤中分布的研究

Harri, R

薛栋森¹ Rob Harrison² Chuck Henry²

(1 西北农业大学农化系, 陕西杨陵·712100)

(2 华盛顿大学, 美国西雅图)

摘 要 对极粗质地的森林土壤一次施用 500 t/hm² 干污泥 15 年后的土壤剖面样品, 分析了 pH 值、ECE、全 N、P、K、S、Ca、Mg、Cd、Cu、Ni、Pb 和 Zn 等, 并同对照土进行比较。表层(0~17 cm)中全 N、P、S、CEC、Cd、Cu、Ni、Pb 和 Zn 的含量明显高于对照区; 由于这种风化不完全的土壤含 K、Mg、Ca 较丰富, 处理区与对照区差异不大; 土壤 pH 值处理区要低; Mg 移到较深层次; Ni 和 Zn 稍有移动; Pb、Cd、Cu、移至 17~27 cm, 但未再向下层移动。

关键词 森林土壤, 土壤改良, 城市污泥, 土壤剖面, 重金属, 阳离子交换量

中图分类号 S714.6, X703

在美国污泥用于林地已近 30 年。它可用作肥源⁽¹⁾, 改善土壤理化性质⁽²⁾, 促进树木生长⁽³⁾, 以及能避开人类食物链。然而, 它含有重金属及具有污染地下水的可能^(4~6)。因而, 重金属在土壤中的归宿, 深受人们重视。

尽管重金属只有极少部分是可溶的, 但大量使用时, 可能移动至几米以下的土层。Lund 等⁽⁷⁾发现在一个施用 20 多年污泥的晾干场, Cr 和 Zn 已移至 2 m 以下, Ni 和 Zn 在 3.5 m 深处也有增加。Kirkham⁽⁸⁾也发现在一个施用 3 年的污水氧化塘中 Cd、Cu、Ni 和 Zn 可被淋至 61 cm 深。在大量施用污泥的农田, 向下移动更深⁽⁹⁾。80 年代也有些研究者指出了污泥处理土壤时重金属在土层中的移动^(10~11)。另一方面, Riekkir 和 Zasoski⁽¹²⁾的田间试验, Miller⁽¹³⁾的室内模拟试验中则并未观察到重金属的移动。

大多数重金属易被土壤吸附, 其在土壤中的移动性与 pH、CEC、有机质含量等有关^(14~15)。

在极粗质地森林土壤上施用污泥约 20 年后的养分和重金属在土壤中分布的研究很少。本研究就是针对这一目的而进行的。

1 材料和方法

1.1 供试土壤状况

污泥林地利用在华盛顿大学派克(Pack)林场已进行了近 20 年。该林场位于西雅图

南约 100 km, 属温和多雨的海洋性气候, 年均气温 10℃, 年降雨量 1 400 mm, 且多集中于冬季。

供试土壤剖面质地变化较大(表 1)。其表层为高海拔的山坡风化残积土, 下部为冰河边磧外沉积作用形成的极粗质地土壤。

1975 年夏秋时节, 以平均 25 cm 厚的污泥(相当于干污泥 500 t/hm²)量施于试验区, 铺平, 干后用圆盘耙翻入表土。污泥成分见表 2。污泥施用之初, 因土壤物理性质急剧变化, 不宜植树。3 年后, 处理区 and 对照区同时栽种了 ponderosa 松、草和杂交白杨。15 年后, 在对照区和处理区同时采集深达 2 m 的剖面样品各 8 层(见表 1), 每样品重复 3 次。土样风干后, 过 2 mm 筛孔。

表 1 供试土壤剖面分层及质地

土 层	深度(cm)	> 2 mm %
落叶覆盖层及表面污泥	7~0	20.1
土壤耕层	0~10	38.4
B ₁	10~20	51.2
B ₂	20~35	55.1
C ₁₁	35~70	62.0
C ₁₂	70~130	64.5
C ₂₁	130~180	74.2
C ₂₂	185+	80.1

表 2 所施污泥的元素含量

元素	%	元素	mg/kg
N	2.62	Cd	64
Ca	2.64	Cr	1 320
K	1.56	Cu	1 170
P	1.80	Mg	350
Na	0.88	Ni	135
Fe	2.71	Pb	2 411
C	26.0	Zn	1 830

1.2 测定方法

pH 值用 pH M 82 型 pH 计测定, 水:土=2:1; 碳使用 LECO 761-100 C 型碳分析仪干烧法测定; CEC 用 NH₄Cl-KCl 交换后, 以自动分析仪比色定 NH₄⁺求得; 全硫用 LECO SC 132 型测硫仪分析; 全氮以 Li₂SO₄-H₂SO₄ 消解后用自动分析仪测定; 金属元素以 HNO₃-H₂O₂-HCl 消解(EPA 3050 标准方法)后用 ICP 发射光谱法测定。所有数据以 3 次平均值进行作图。

2 结果与讨论

2.1 土壤有关特性与养分

2.1.1 pH 值 处理区土壤表层 pH 降低约 1 个 pH 单位, 并且达 2 m 各层也有降低(图 1)。这是由于有机质分解产生有机酸及氮的硝化作用和雨水的淋溶所致^[16]。

2.1.2 碳 处理区土壤剖面中的碳含量均高(图 2), 表层约增 1 倍, 以下随深度递减。这是因为污泥中含碳成分分解物的向下移动所致。

2.1.3 氮 处理区土壤表层含氮量为对照区的 2 倍多, 表层以下差异不大(图 3)。在污泥施用 1 年后的渗漏计试验(表 3)中发现 NO₃⁻淋溶至心土层中。

美国西北部林地, 氮是限制树木生长的主要制约因素^[2], 污泥正提供了氮素^[3]。如果污泥氮的矿化量超过了森林生态系统对氮的摄取, 就会引起硝化作用及硝酸盐的淋洗。

2.1.4 磷 处理区表层土壤磷量明显增高, 下层也有增加趋势(图 4)。磷也是限制树木生长的主要因子, 许多林区仅在氮满足之后, 磷才表现为限制因子。

2.1.5 硫 污泥中含较多的硫。处理区表层土的硫明显增加(图 5)。硫和氮一样能引起土壤酸化,而且硫酸根比磷酸根有较大的移动性,当土壤中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 向下移动时,会导致 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和某些金属离子的移动。

2.1.6 CEC 污泥中含有大量有机物和胶体物质,施用污泥后明显提高了表层、心土层、甚至较深层次的 CEC(图 6)。CEC 高的土壤,则能限制重金属的移动。

2.1.7 钾 供试土壤是风化度较低、含钾多土类,处理区与对照区 0~70 cm 土层中的钾量差异不大(图 7),70 cm 以下处理区土层含钾稍高,是 K^+ 与 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 伴随下移所致。

2.1.8 钙 供试土含钙较多,污泥含钙为土壤的 3 倍,故处理区表层钙显著增高(图 8)。在表 3 的渗漏试验中, Ca 也有所增加。图 8 说明钙的淋洗明显,其原因与钾相同。

2.1.9 镁 土壤中含镁丰富,故处理区与对照区表层镁含量差异不大(图 9)。处理区心土镁明显增高,也是由于硝化作用旺盛,使镁在植物根区发生了淋洗。

2.2 重金属

2.2.1 镉 处理区表土镉增高 10 倍,且绝大部分保存在有机层和耕层而未向下移动(图 10)。在渗漏试验中发现镉少量下移,可能与土壤曾有过强烈的酸化作用有关。图 10 处理区 25~100 cm 土层中的镉较对照为低,2 m 处二者相等,也是由于酸化作用的结果。由于镉具潜在毒性,且较易溶解和移动^[17]及可被生物吸收,因而为人们所关注。虽然结果表明大部分的镉未移动,即令很小的移动也不会引起地下水的污染,但若大量施用污泥,土壤又能发生强烈的酸化作用时,应进行淋洗渗漏的监测与管理。

2.2.2 铜 表层以下各土层铜量无差异(图 11),渗漏试验也未发现铜的下移。

2.2.3 镍 处理区表层镍比对照区高 3 倍,且主要停留在表层(图 12)。在 30~120 cm 土层因酸化作用而使处理区镍量较高,渗漏试验也发现镍的浓度稍有增加。镍的移动主要受土壤 pH 值和质地的影响。无机态的镍盐在粘重的土壤中仅微弱移动,但以粘砂土作的模拟试验中可有较大的移动^[18], Zasoski 在 Everett 土壤上施用污泥,发现可移动至 20 cm 以下。如果把污泥混入表土,镍并不移动。本试验区土壤质地很粗,如过量或连续施用污泥,就可能发生镍的淋洗。

2.2.4 铅 处理区表层铅约增 20 倍,第 2 层也增加 10 倍,心土层却低于对照区(图 13)。这是由于施污泥后发生过强烈的酸化作用。渗漏试验也发现渗漏液中铅有所增加。

2.2.5 锌 处理区表层及 20~70 cm 土层中锌量增加显著(图 14)。从对数图上看到锌几乎在整个剖面发生了移动,这与 pH 值的降低有密切关系^[19~20]。

表 3 施污泥 10 年后渗漏液元素含量 mg / kg

元素	对照	施污泥
C	3.5	14.8
NH ₄ -N	0.04	0.17
NO ₃ -N	0.80	129
P	0.03	0.15
Cl	1.4	6.6
Na	2.6	7.2
K	0.9	5.9
Ca	4.3	144
Mg	1.0	52.6
微量元素	*	*

* 在检测限以下

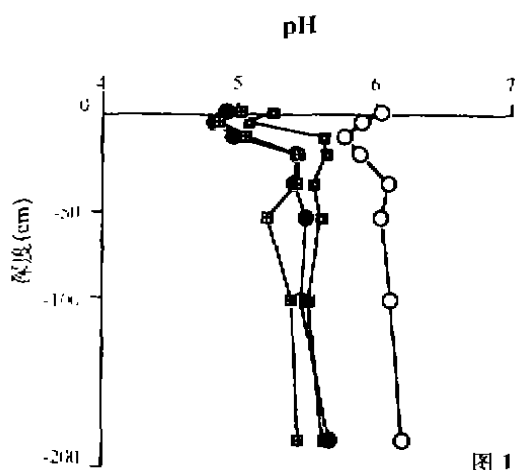


图 1

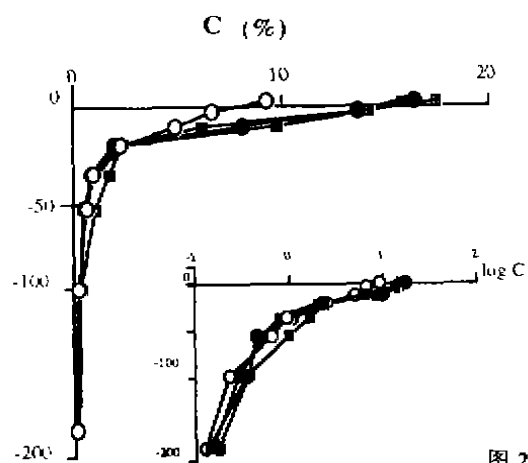


图 2

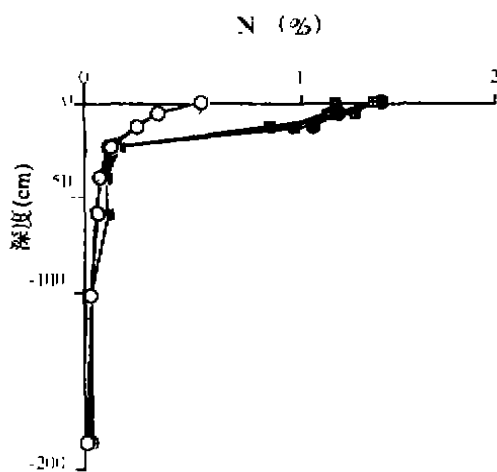


图 3

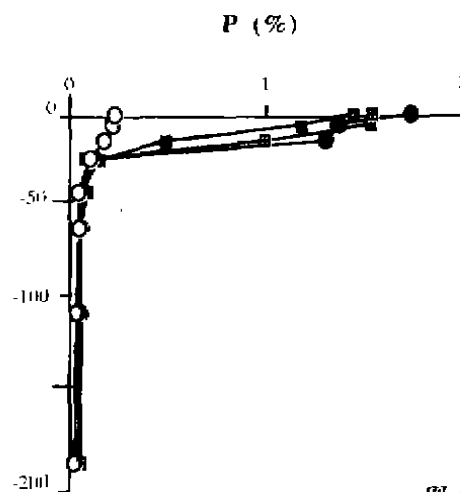


图 4

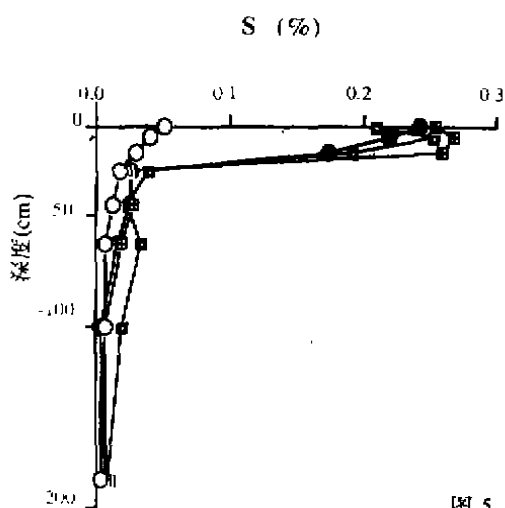


图 5

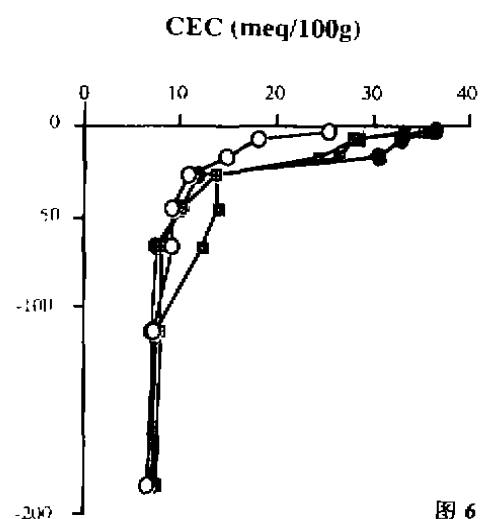


图 6

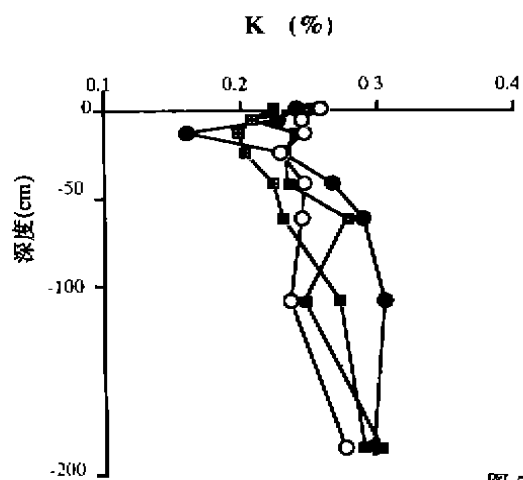


图 7

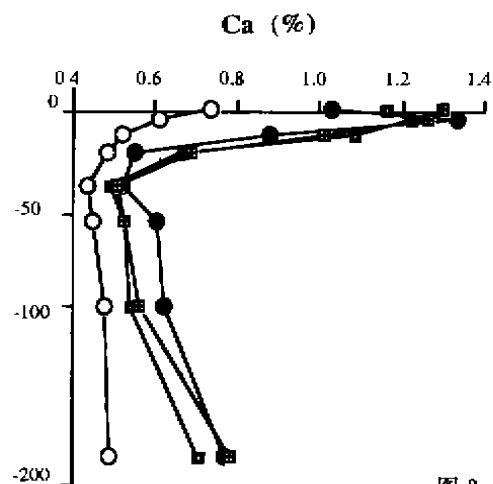


图 8

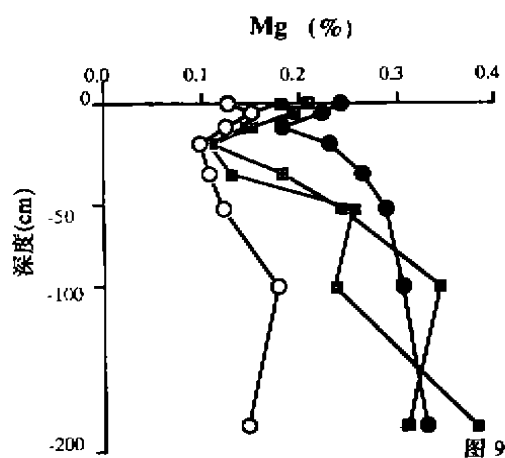


图 9

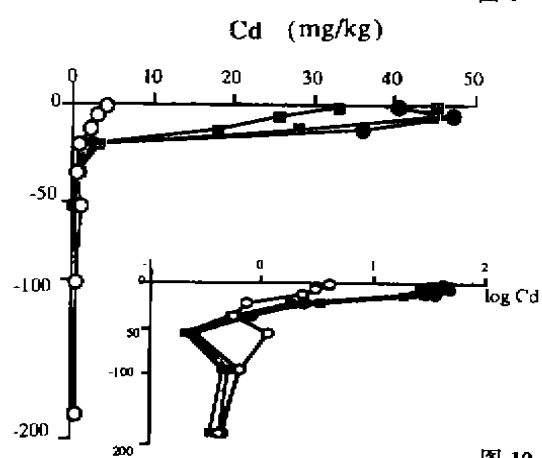


图 10

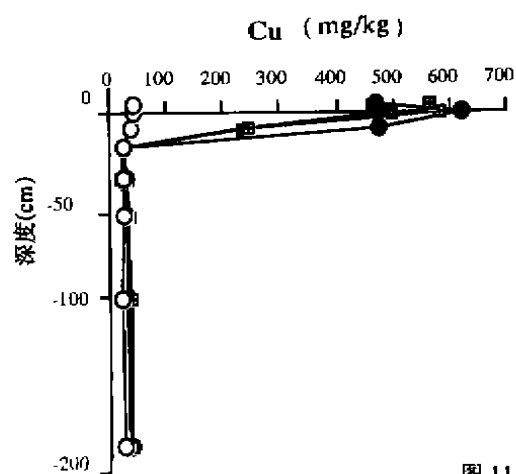


图 11

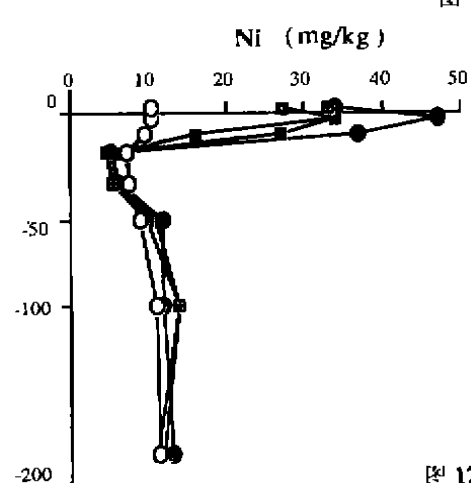


图 12

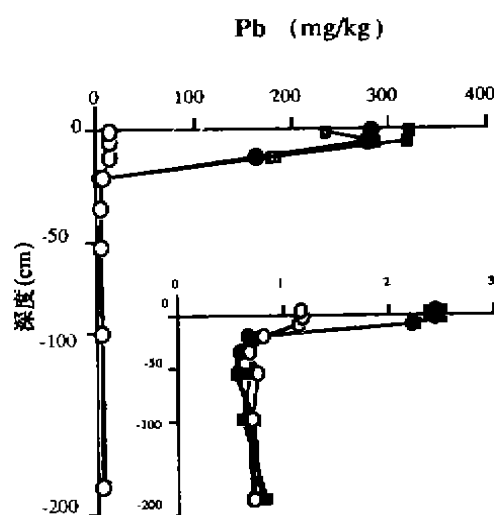


图 13

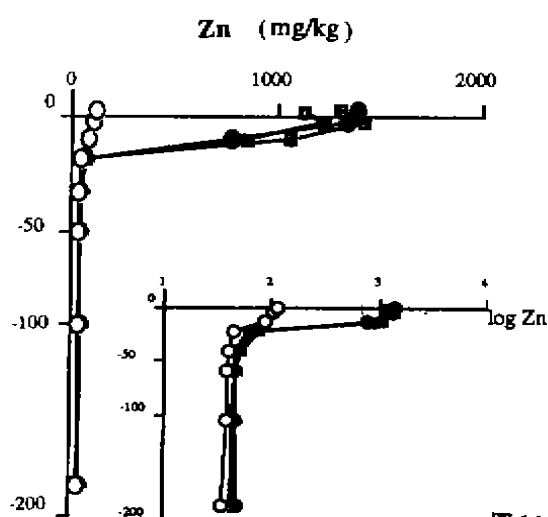


图 14

图版说明

1) 图 1~14 分别为: pH、有机碳、全 N、P、S、CEC、K、Ca、Mg、Cd、Cu、Ni、Pb、Zn 在土壤剖面中的分布

2) 图例: —■—示松树施污泥; —●—示草施污泥; —田—示杨树施污泥; —○—示对照

3 小 结

污泥用于森林土壤可显著提高营养元素和有关重金属含量。如一次大量施入, 可维持相当长时间的高浓度。

在植被很少、质地极粗的土壤上一次施入厚达 25 cm 的污泥, 15 年后, 大量的养分特别是 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、钙和镁都有很大的移动性, 可移至较深土层; 土壤各层 pH 值约降低 1 个 pH 单位; 重金属一般未移动至 20 cm 以下, 然而由于施用污泥会引起酸化作用的增强, 使得镉和铅的溶解度增加而移动至 17~27 cm。

在所试森林土壤施污泥 15 年后, 重金属仍停留在土壤表层, 基本上未向下层移动。这一事实对于污泥的林地利用是颇有实用意义的。

参 考 文 献

- 1 Bouldin D R, Gouin F R, Waddington D V *et al.* Benefits of land spreading of sludge in the Northeast. 1985; 23~27
- 2 Zasoski R J. Effects of sludge on soil chemical properties. In Bledsoe C S. Municipal sludge application to Pacific Northwest forest lands. 1981. 45~48
- 3 Cole D W, Henry C L, Nutter W L. The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. 1986; 209~304

- 4 Sommers L E. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *J Environ Qual*, 1977, 6: 225~232
- 5 Page A L. Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands. *A literature review study*, 1974
- 6 Chaney R L. Potential effects of waste constituents on the food chain. In: Part J F, Marsh P B, Kla J M Ved Land treatment of hazardous waste. 1983; 152~240
- 7 Iund L J, Page A L, Nelson C O. Movement of heavy metals below sewage disposal pond. *J Environ Qual*, 1976, 5: 330~334
- 8 Kirkham M B. Trace elements in corn grow on long term sludge disposal site. *Environ Sci Technol*, 1975, 9: 765~768; 1976, 10: 284~285
- 9 Poelstra P, Frissel M J. Transport and accumulation of Cd ions in soils and plants. *Z pflanzenernaehr Bodened*, 1979, 142: 848~946
- 10 De Haan S. The chemical composition of drainage water from soils treated with sewage sludge and town refuse compost. *Landwirsch Forsch*, 1980, 33: 166~178
- 11 Reddy M R, Dunn S J. Movement of heavy metals in soil amended with sewage sludge and heavy metals. *Agron Abstr Am Soc of Agronomy*, 1984; 73
- 12 Rickirk H, Zasoski R J. Effects of dewatered sludge applications to a Douglas-fir forest soil on the soil, leachate and groundwater composition. In: Sopper W E, Kerr S N ed. Utilization of municipal sewage sludge effluent and sludge on forest and disturbed land. Penn State Univ Press, 1979
- 13 Miller W P, Mcfree W W, Kelly J M. Mobility and retention of heavy metals in sandy soils. *J Environ Qual*, 1983, 12: 579~584
- 14 Hatton D, Pickering W F. The effect of pH on the retention of Cu, Pb, Zn, and Cd by clay-humic acid mixtures. *Water Air and Soil Pollution* 1980, 14: 13~21
- 15 King L D. Retention of metals by several soils of the Southeastern United States. *J Environ Qual*, 1988, 17: 239~2454
- 16 Hartenstein R. Sludge Decomposition and stabilization. *Sci*, 1981, 212: 743~749
- 17 Sidle R C, Kardos L T. Transport of heavy metals in sudge treated forested area. *J Environ Qual*, 1977, 6: 431~437
- 18 Korte N E, Skopp J, Fuller W H *et al*. Trace element movement in soils, influence of soil physical and chemical properties. *Soil Sci*, 1976, 122, 350~359
- 19 Lake D L, Kirk P W W, Lester J N. Fractionation, characterization and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge amended soil: a review. *J Environ Qual*, 1984, 13: 175~183
- 20 Tyler G. Leaching rates of heavy metal ions in forest soils. *Water Air and Soil Pollution*, 1978, 9: 137~148

Research on the Distribution of Nutrients and Heavy Metals in Forest Soil Amended with Municipal Sewage Sludge after 15 Years

Xue Dongsan¹ Rob Harrison² Chuck Henry²

(¹Department of Northwest Agricultural University, Yangling, Shaanxi, China, 712100)

(²University of Washington, Seattle, USA)

Abstract This study analysed nutrients and trace metal concentrations in the extremely coarse textured forest soil fertilized with 500 t/hm² of municipal sewage sludge after 15 years. Soil profile to a depth of 2m was sampled and pH, CEC, C, N, P, S, K, Ca, Mg, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn were quantitatively analysed and compared with the adjacent control soil. Total N, P, S, CEC, Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn values were significant higher in surface horizons (0~17 cm) than those in the control soil. Total K, Ca and Mg values were not obviously significant because of abundant parent materials in this unweathered soil. Soil pH was lower in the sludged vs the control soils; Mg was found leaching into deeper layer. Ni and Zn were leached to a certain extent; Pb, Cd and Cu migrated to (17~27 cm), but not to move into subsoil layer.

Key words forest soil, soil improvement, municipal sewage, soil profile, heavy metal, cation exchange capacity